
INFRASTRUCTURE DE DONNÉES SPATIALES

Analyse préalable à une infrastructure de données spatiales au Maroc

Fatiha Ibannain* - Jean-Paul Donnay**

* Agence Nationale de la Conservation Foncière, du Cadastre et de la Cartographie

Avenue Hassan II, Km 4, Rabat, Maroc

f.ibannain@ancfcc.gov.ma

** Unité de Géomatique, Université de Liège

17 Allée du 6 Août (B5a) 4000 Liège, Belgique

jp.donnay@ulg.ac.be

RÉSUMÉ. Dans cet article, nous discutons les moyens de promouvoir les infrastructures de données spatiales (IDS). Outre des considérations d'ordre organisationnel réglementant ces infrastructures, le développement d'outils et de modèles tenant compte de la diversité des intervenants est inévitable pour atteindre les objectifs d'une IDS. Notre étude a ciblé les préalables techniques à la mise en place d'une IDS au Maroc. Une approche ontologique des données de référence a facilité la définition des types d'objets de référence lors du catalogage des entités, puis celle des concepts retenus lors de la modélisation conceptuelle. Un catalogue d'entités conforme à la norme ISO 19110 est élaboré selon les principes de cette ontologie illustrant l'indépendance et la complémentarité des types d'objets, leur adaptabilité à des domaines spécifiques et leur hiérarchisation. Il permet ainsi de mettre en place un modèle de référence, c'est-à-dire une structure de base pouvant être adaptée à une large gamme d'applications. Les développements de ce travail ont pour objectif de sensibiliser les décideurs quant à l'instauration d'une IDS au Maroc.

ABSTRACT. In this paper, we discuss ways of promoting a spatial data infrastructure (SDI). Further considerations regulating the organizational infrastructure, the development of tools and models taking into account the diversity of actors is inevitable to achieve the objectives of an SDI. Our study focused on the technical prerequisites for the establishment of an SDI in Morocco. An ontological approach to the reference spatial data has facilitated the definition of object types when cataloguing reference entities, as well the concepts used in conceptual modeling. A feature catalog complying with ISO 19110 is developed using the principles of this ontology illustrating the independence and complementarity of object types, their adaptability to specific application domains and their inheritance. This approach allows establishing a reference model, that is to say a base structure which can be adapted to a wide range of applications. Developments of this work aim to sensitize policy makers about the introduction of an SDI in Morocco.

MOTS-CLÉS : IDS, données spatiales de référence, ontologie, catalogage, modélisation.

KEYWORDS: SDI, spatial reference data, ontology, cataloguing, spatial data design.

1. Introduction

Les infrastructures de données spatiales (IDS) sont le fruit d'une intégration de données qui réclame une bonne compréhension des besoins des divers utilisateurs. Elles nécessitent au préalable des efforts considérables et une collaboration étroite entre les différents acteurs à l'échelle nationale pour arriver à un consensus sur les objectifs et les priorités. Ensuite, des accords sur les normes et sur les autorisations nécessaires doivent être établis. Enfin, une attention particulière doit être donnée au développement de modèles et d'outils pour l'exploitation et la gestion de l'information géographique [MOL 98], [DON 02], [NOU 06], [PAR 06]. Dans ce qui suit, nous reviendrons sur plusieurs de ces aspects tout en mettant l'accent sur les concepts les plus fondamentaux de l'information à référence spatiale [IBA 09]. Il s'agit d'approfondir l'analyse des diverses composantes d'une IDS, et particulièrement celle concernant la mutualisation de l'information qui constitue le principal maillon autour duquel s'articule une panoplie d'idées, de concepts et de ressources. Cet élément incontournable d'une IDS devrait être bien documenté pour en faciliter l'usage et en optimiser l'exploitation. Sa compréhension doit permettre d'identifier les sources de conflits et de concilier les points de vue favorisant ainsi la mise en place d'un modèle de référence, soit une structure de base pouvant être adaptée à une large gamme d'applications. Cet article propose d'exposer la démarche poursuivie pour mettre en place un tel modèle dans le cas du Maroc. Elle passe par l'établissement d'une ontologie qui s'inspire des pratiques courantes entre producteurs et utilisateurs des données à référence spatiale, tout en se focalisant sur les données de base que nous qualifions de « données de référence ».

2. IDS et intégration

2.1. *Les enjeux de l'information géographique*

La représentation du monde réel tente de communiquer une vue simplifiée qui traduit autant que possible la réalité. Cette représentation reste liée à la finalité du produit visé. Selon qu'il s'agisse d'une simple cartographie ou de la constitution d'une base de données géographiques regroupant toutes les composantes environnementales du phénomène étudié, plusieurs facteurs sont à considérer. Dans le cas d'une représentation cartographique classique, malgré son utilité et sa richesse sémantique, son utilisation reste peu adaptée à une exploitation s'intéressant au contenu de l'information plutôt qu'à sa reproduction, elle-même entachée des opérations de symbolisation et de généralisation. Dans le même ordre d'idées, certains auteurs qualifient la carte « *d'une vue ou d'une représentation particulière d'un espace géographique adaptée à une utilisation précise, avec des informations différentes* » [DEV 97, p. 15]. L'utilisateur se retrouve ainsi limité dans ses manœuvres par les spécifications même de la carte.

En d'autres termes, la représentation cartographique ne peut plus constituer le support unique de l'information géographique. Elle devient une application, parmi d'autres, issue d'une base de données géographiques. Il faut voir là une optimisation des potentialités de l'information géographique, dans ses dimensions tant spatiales que thématiques. Mais comment constituer la base de données géographiques en amont ? La démarche implique naturellement l'intégration de données se rapportant à diverses thématiques mettant en interaction autant de catégories d'utilisateurs. D'une part, on identifie des organisations responsables de la production des données géographiques de référence, et d'autre part celles qui se dotent de ces informations pour constituer leurs propres systèmes d'information géographique en y greffant leurs données métiers spécifiques. Ces dernières institutions se placent en tant qu'utilisateurs vis-à-vis du producteur de données géographiques de référence, appelées aussi « référentiels » [BAD 00]. Cette situation requiert la définition des responsabilités de chacune des parties.

D'une manière générale, l'information géographique est une ressource indispensable pour tout pays moderne. Cependant, plusieurs facteurs tant d'ordre technique que juridique forment une barrière à sa diffusion auprès des principaux acteurs économiques et, en conséquence, ne favorisent pas la concertation entre la communauté scientifique, les décideurs et la société civile [GAZ 06]. C'est la raison pour laquelle, partout dans le monde, des acteurs nationaux conscients de l'aspect stratégique que revêt l'information géographique, ont initié des démarches de rapprochement pour instaurer un cadre favorable à l'optimisation de l'exploitation de l'information à référence spatiale. Ces démarches ont pu profiter des avancées technologiques apparues dans le domaine de l'information géographique, au premier rang desquelles il faut mentionner le développement des normes, des formalismes et des modèles.

2.2. *Qu'en est-il au Maroc ?*

Actuellement, l'utilisation de l'information à référence spatiale au Maroc s'est étendue à des domaines de plus en plus variés. Après une aire de cartographie conventionnelle dont l'unique produit était la carte papier, les outils et les méthodes de représentation de l'espace géographique ont évolué.

Dans ce sens, la cartographie se trouve aujourd'hui confrontée à de nouveaux défis liés principalement aux avancées technologiques dans le domaine de la géomatique. À côté des logiciels et matériels devenus accessibles et des méthodes d'acquisition des données géographiques de plus en plus nombreuses, l'utilisation d'Internet comme vecteur de diffusion a contribué à répandre encore plus l'information géographique.

Une volonté de se conformer aux directives internationales en matière de géomatique a été exprimée au Maroc dès la fin des années 90 par l'informatisation de certains maillons de la chaîne de production cartographique qui relève des

missions de l'agence nationale de la conservation foncière, du cadastre et de la cartographie (ANCFCC). Ces efforts se sont poursuivis par l'adoption de l'approche « tout numérique » pour l'optimisation du processus de production [ANC 04].

2.2.1. Environnement de production des données de base

Des procédures ont été mises en place pour structurer les données cartographiques selon les possibilités offertes par des logiciels de cartographie assistée par ordinateur. La représentation cartographique est confiée à des applications spécialisées qui exploitent des fichiers au format DGN¹.

Ce changement de support a offert de nouvelles possibilités de réutilisation des données cartographiées. Mais il n'a pas réellement facilité la tâche des utilisateurs. Ils restent limités par les contraintes de production des données ayant servi à la réalisation des cartes, dont l'interprétation nécessite le recours systématique à la structuration en vigueur à l'entité de production.

Par ailleurs, l'avancée technologique s'est accompagnée du lancement de projets SIG par différents organismes nationaux. Après avoir constitué, pendant longtemps, un outil complexe que seuls les spécialistes pouvaient maîtriser, les nouvelles générations des logiciels SIG ont contribué à élargir son public. De nouveaux besoins sont apparus, notamment chez les utilisateurs sectoriels, qui, pour mettre en place leurs propres systèmes d'information géographique, réclament des données géographiques de référence. Cependant, l'exploitation de ces données dans un environnement SIG nécessite certains traitements de la part du producteur, dont la justification demeure discutable selon l'ampleur et la finalité du projet considéré.

2.2.2. Besoins en information de base

Rares sont les enquêtes officielles portant sur les capacités d'un SIG au niveau national. Les SIG se retrouvent dans les grandes institutions et organisations, gouvernementales ou non, mais également à différents niveaux hiérarchiques, selon les découpages administratifs (SIG nationaux, régionaux et locaux). Ce phénomène entraîne une forte dispersion et une hétérogénéité des données géographiques et cartographiques [POI 07]. Dans le même ordre d'idées, certains utilisateurs mettent l'accent sur le manque de cartes de base récentes pouvant refléter le rythme accéléré des changements du tissu urbain [DSM 07], [DSN 07].

La multiplicité des besoins engendre une augmentation de la fréquence des mises à jour des données de base, mais surtout, elle réclame la documentation de l'information de référence (métadonnées) afin d'évaluer son degré de correspondance par rapport à la réalité. Les producteurs de données, tant aux niveaux national que régional, optent pour la définition et la mise en œuvre de spécifications de qualité pour satisfaire les exigences des utilisateurs (clients) et pour améliorer l'efficacité du système de gestion de la qualité [ISO 00], [IGN 01], [GIN 03], [IGN 03], [NSH 04], [SHO 04].

1 Format spécifique au logiciel DAO MicroStation de la compagnie Bentley Systems.

Parmi les incohérences mises en lumière par les analyses de qualité, on constate que nombreuses d'entre-elles sont liées à la nature même des éléments cartographiés. C'est le cas, par exemple, du découpage administratif, délimitation abstraite constituant l'une des unités spatiales d'intégration (USI) les plus utilisées. Plusieurs acteurs économiques utilisateurs de cette donnée, relatent les difficultés que pose son utilisation, particulièrement en présence des changements de découpages nécessitant des mises à jour [DSM 07], [DSN 07].

D'une manière générale, ce sont les producteurs des données de référence qui sont tenus d'en livrer les mises à jour afin que les utilisateurs puissent disposer d'une vue de l'espace géographique qui reflète autant que possible la réalité du terrain. Le même souci se pose aussi aux producteurs de données dérivées, lors de la réalisation de leurs propres produits. La propagation des évolutions spatio-temporelles du référentiel dans les bases de données géographiques des utilisateurs ou dérivées, ne va cependant pas sans poser des risques importants de perte d'information ou conduire à l'obtention d'états incohérents dans les bases de données [BAD 00].

L'élaboration et la mise en œuvre des méthodologies de mise à jour régulière ou permanente de ces données de référence et dérivées constituent donc un préalable à leur exploitation par les différents utilisateurs. L'expérience de la division de statistique des Nations Unies (DSNU) a montré que le développement et la maintenance de bases de données géographiques sont coûteux et très consommateurs de moyens humains. Il est, par conséquent, nécessaire de minimiser les redondances en encourageant le partage de données de base [DSN 07]. Cependant, une telle action réclame le développement des outils nécessaires pour accompagner les producteurs et les utilisateurs dans leurs missions à l'échelle nationale.

2.2.3. Peut-on envisager une IDS au Maroc ?

L'analyse de la situation actuelle a permis d'identifier de nouveaux besoins en termes d'administration de l'information géographique. En d'autres termes, l'attention doit être orientée vers l'instauration des dispositions nécessaires pour une possible mise en commun de l'information géographique, susceptible de conduire à la mise en place d'une infrastructure nationale de données. Mais la question qui se pose est : dispose-t-on au Maroc des composantes principales d'une IDS telles qu'elles sont définies dans la littérature ? [GIN 02], [ECA 04], [SAL 06].

À l'exception du patrimoine national, d'énormes efforts sont encore à déployer quant à la documentation des informations géo-référencées. La notion de métadonnées n'a pas encore atteint son degré de maturité dans de nombreuses organisations. D'autre part, les mécanismes de découverte et d'exploration des données doivent être mis en place comme préalables à l'accès proprement dit aux données géographiques. À côté de ces volets qui restent à développer, on doit aussi noter le faible niveau d'avancement des accords techniques et organisationnels effectifs à l'échelle nationale.

Par ailleurs, la réussite de la mise en place d'une IDS est conditionnée par son développement, son utilisation et son entretien par un ensemble d'organismes responsables des ressources de base [GIN 02], [SAL 06]. Or au Maroc, les principaux producteurs de l'information géographique de base relèvent d'un même organisme (ANCFCC), ce qui constitue une assise prometteuse pour faciliter la mise en commun des données géographiques à l'échelle nationale. Il reste que l'administration des données reste le cœur du problème, nécessitant des préalables techniques pour soutenir une telle démarche.

Il s'agit tout d'abord de mettre au point un cadre pour accompagner les différentes catégories d'utilisateurs des données géo-spatiales à l'échelle nationale. Outre les aspects techniques, qui se traduisent principalement par l'adoption des normes, la prise en considération de l'aspect juridique s'avère indispensable dans la perspective d'arriver à un consensus sur les conditions de production et d'utilisation des données géographiques.

Néanmoins, face à la diversité des intervenants et afin de devancer les sources de conflits, la mutualisation des connaissances liées aux différentes composantes d'une IDS reste le principal défi. Comme le souligne [DAV 09], les insuffisances sémantiques constituent un facteur limitant l'interaction des divers acteurs. Leurs points de vue nécessitent des moyens plus efficaces pour passer au travers des ensembles de concepts, ou ontologies, caractérisant chaque communauté.

3. Modélisation et ontologies des données géographiques de référence

La modélisation est une représentation de la réalité selon des choix répondant à un objectif défini. On peut en conséquence parler d'une synthèse de l'information dans le sens où elle implique une simplification de la complexité de la réalité basée sur des hypothèses définies au départ de la modélisation. Il s'agit d'un ensemble de règles dictées par notre perception et guidées par nos connaissances qui constitueront les spécifications qui définissent un modèle donné. De nombreuses méthodes de conception adaptées aux données géographiques ont été proposées. D'autres travaux sur les modèles de représentation des données spatiales continuent à susciter l'intérêt et concernent notamment la normalisation et la gestion des métadonnées.

La représentation des éléments du monde réel dans une base de données géographiques nécessite une définition sémantique claire et précise. Même si la bonne communication repose avant tout sur des formalismes pouvant être aisément interprétés par les intéressés, l'espace géographique reste suffisamment complexe pour que sa formalisation en termes d'objets et d'interactions reste difficile. C'est dans ce sens qu'un dictionnaire de données s'avère indispensable pour enrichir la description des phénomènes du monde réel. Il constitue en fait une partie de l'ensemble des métadonnées et il a pour avantage d'être particulièrement flexible et accessible à l'utilisateur final [PAN 98].

L’élaboration d’un dictionnaire de données dans le cadre de ce travail a débuté par la définition du mot « référence » qui correspond à une information ou un élément servant de repère. Dans le domaine de l’information à référence spatiale, cette définition reste applicable. Le terme référentiel est a priori associé à l’infrastructure géodésique. Plusieurs mutations dans le monde de la géomatique ont fait évoluer son sens et on parle également de « référentiel géographique ». Il s’agit d’un ensemble de données géographiques de base qui constituent le centre d’intérêt d’une large communauté de producteurs et d’utilisateurs potentiels de l’information géographique. Ce sont ces données d’intérêt commun qui sont qualifiées de données de référence.

L’identification et la définition des données de référence au Maroc ont constitué le premier pas vers la modélisation envisagée dans cette recherche. Au travers d’une étude de l’existant et des besoins, il s’agissait tout d’abord, d’identifier les producteurs et leurs données géographiques, mais aussi d’imaginer une exploitation optimale de ces données de référence. Nous avons ainsi confronté les objectifs des producteurs et ceux des utilisateurs des données, et analysé en parallèle les configurations des données existantes. Ces analyses ont permis de mettre en avant les principaux problèmes liés à l’utilisation des données, en ce compris par le producteur initial lorsqu’il souhaite en dériver d’autres produits. Les incohérences sémantiques sont ainsi apparues comme l’un des obstacles majeurs à l’interopérabilité des données. L’absence de vocabulaire commun, les divergences voire l’insuffisante compréhension des concepts et de leurs relations, en un mot l’absence d’une ontologie de domaine et de métadonnées explicites, constituent un frein à la mise en commun de l’information et, d’une manière générale, à l’établissement d’une IDS [GES 05]. Pour apporter un premier élément de réponse à cette lacune, nous avons procédé au catalogage des données géographiques en se conformant à la norme ISO 19110 [ISO 05], [IBA 11].

3.1. Catalogage des entités ou ontologie des données de référence ?

L’élaboration d’un catalogue d’entités géographiques concrétise notre analyse dans le sens où elle permet dans un premier temps la description des données existantes de manière structurée. Il s’agit de définir les objets et les attributs que devront posséder les données inventoriées. En tenant compte des producteurs de ces données et des exigences d’une large gamme d’utilisateurs de données de référence, nous avons essayé de définir les attributs d’un ensemble de classes génériques abstraites auxquelles ces objets appartiennent et dont les valeurs constituent des métadonnées sur ces objets. Nous avons ainsi défini onze types d’objets repris au tableau 1.

Tableau 1. *Descriptif des types d'objets de référence [IBA 09]*

Types d'objets	Description
RÉFÉRENTIEL GÉODÉSIQUE	Abstraction de l'ensemble des éléments du référentiel géodésique.
LIMITES	Abstraction des limites politiques, administratives, de parcellaire, de zoning, et toute autre délimitation.
RELIEF	Abstraction de l'ensemble des objets qui permettent de décrire la configuration de la surface terrestre telle qu'elle est déterminée par les inégalités de cette surface en se basant sur les formes de relief.
HYDROGRAPHIE	Abstraction de l'ensemble des objets qui décrivent l'organisation du réseau hydrographique et des étendues d'eau commandée par l'agencement du relief, la disposition et la topographie des masses solides qui contiennent les eaux marines ainsi que tous les ouvrages hydrauliques liés à l'intervention humaine.
TRANSPORT TERRESTRE	Abstraction de l'ensemble des objets constitutifs des réseaux routier, de pistes et des lignes téléphériques.
RÉSEAU FERROVIAIRE	Abstraction de l'ensemble des objets constitutifs du réseau ferroviaire.
STRUCTURES	Abstraction des constructions et structures permanentes telles les bâtiments et les constructions en relation avec les divers réseaux et les ouvrages d'équipement.
INSTALLATIONS AÉRONAUTIQUES	Abstraction des objets conçus et réservés pour l'atterrissement et le décollage d'aéronefs, y compris les installations d'entreposage et d'entretien des aéronefs ainsi que pour les passagers et le fret.
INSTALLATIONS PORTUAIRES	Abstraction des eaux navigables et des ouvrages portuaires.
EQUIPEMENT	Abstraction des objets qui relèvent du domaine des équipements électrique, de communication, industriel, minier...
VÉGÉTATION	Abstraction de toutes les entités qui composent le couvert végétal ainsi que les surfaces couvertes de végétation.

3.2. Principes d'une ontologie pour les données de référence

La démarche qui consiste à définir des types d'objets de référence lors du catalogage, en s'inspirant des pratiques courantes entre producteurs et utilisateurs des données à référence spatiale, peut dans une certaine mesure être assimilée à l'élaboration d'une ontologie [LAU 07]. Pour ce faire, nous avons développé une méthodologie s'inspirant des matrices de conduite de projet de SIG [PAN 96] où l'adaptabilité à une application particulière, de toute entité que nous qualifions d'objet de référence, est tracée au travers d'un ensemble de critères de pertinence. Parmi les classes de préoccupation de cette matrice (en colonne – voir tableau 2), figure en première place l'organisation, commandant la définition des données de référence. L'objectif qui motive la création de ces données de référence, ainsi que l'utilisation qui leur est réservée sont ensuite décrits. Le type d'objet de référence qu'il est possible d'en inférer lors de la phase de catalogage et l'évaluation de la cohérence de la proposition forment les deux dernières classes de préoccupation.

Ces classes de préoccupation sont analysées successivement au travers des critères énoncés par Gruber pour évaluer et mettre en évidence les bases d'une ontologie : clarté, extensibilité et engagement ontologique minimal [GRU 93]

Tableau 2. *Mise en évidence des principes d'une ontologie des données de référence [IBA 09]*

	Organisation	Objectif	Utilisation	Types d'objets de référence	Cohérence
Clarté	Identification des données de référence et des acteurs	Objectif et possibilités d'utilisation	Typologie des domaines d'applications	Premier dictionnaire	1 Indépendance / complémentarité
Extensibilité	3. Hiérarchisation	2. Adaptabilité			Héritage multiple
Engagement minimal	Contraintes	Chevauchement de domaines			Responsabilités de production

3.2.1. Indépendance et complémentarité des types d'objets

L'analyse du tableau 2 permet d'exprimer les principes de cette ontologie en considérant les diverses classes de préoccupation proposées. Ainsi, la première classe, l'organisation, reflète le contexte général de production et d'utilisation de l'information de référence. À un niveau descriptif exprimant le critère de clarté, notre démarche est concrétisée par l'identification des données de référence au Maroc, ainsi que les divers acteurs impliqués. Il s'agit de mettre en évidence les ensembles de données qui sont d'un intérêt commun à un maximum d'utilisateurs pour cerner le premier champ d'investigations.

En combinant ce premier élément d'analyse aux deux classes suivantes, à savoir l'objectif et l'utilisation des données de référence, on est en mesure de dresser une première typologie des pratiques courantes des producteurs et des utilisateurs de ces données. D'une part, les objectifs qui ont motivé la production de ces données, ainsi que les possibilités d'utilisation, constituent un paramètre qui renseigne sur le contenu et le sens de l'information. D'autre part, le degré d'adaptabilité de ces données est partiellement documenté à travers les applications pour lesquelles ces données ont été employées jusqu'ici.

Ces considérations sont à la base de la définition des types d'objets de référence qui formeront le catalogue des entités. Ce dernier est ainsi construit selon une démarche inductive procédant par synthèse [CHA 07] : la définition des types d'objet au niveau générique du catalogue s'est basée sur la prise en compte de l'ensemble de données qui peuvent relever de chaque type d'objet.

Quant aux contrôles de cohérence qui font l'objet de la dernière classe considérée, ils traduisent le premier principe ontologique des données de référence,

à savoir l'indépendance et la complémentarité des types d'objets de référence. À un niveau global, les contrôles de cohérence permettent d'éviter les chevauchements entre les domaines couverts par les divers types d'objets. À un niveau plus détaillé, la cohérence peut concerner des entités qui relèvent de plusieurs types d'objets, en faisant appel à la notion d'héritage multiple qui souligne la complémentarité des types d'objets autorisant ainsi le chevauchement de leurs domaines.

3.2.2. *Adaptabilité des types d'objets à des domaines spécifiques*

L'analyse à un niveau descriptif traduisant le critère de clarté a permis d'accumuler un ensemble de connaissances sur les données de référence dont un premier résultat concret est le dictionnaire de données. La prise en compte de l'objectif initial de création des jeux de données, ainsi que leurs utilisations antérieures, ont permis d'identifier des propriétés que doit posséder un objet en vue de répondre aux besoins d'un domaine spécifique. La différenciation des lots de données peut dès lors être faite sans ambiguïté, en permettant la constitution des types d'objets de référence offrant une adaptabilité à un maximum d'applications. En d'autres termes, les objets qualifiés de référence sont définis d'une manière complète, indépendamment de leur contexte. Leur exploitation dans une application particulière doit se faire de manière fonctionnelle tout en assurant des extensions propres au domaine concerné.

3.2.3. *Hiérarchisation*

Comme nous venons de le présenter, le catalogage des données a été réalisé dans l'esprit d'assurer l'adaptabilité des objets de référence à divers domaines d'application. Les types d'objets peuvent ainsi être introduits dans autant de modèles conceptuels spécifiques. Le modèle conceptuel de référence consiste lui en une hiérarchisation qui se concrétise par des relations de spécialisation liant divers types d'objets spécifiques à chaque type d'objet de référence. À un niveau de détail plus fin, des relations de spécialisation peuvent aussi lier certaines classes d'entités à d'autres classes d'entités de référence.

Le tableau 3 illustre ces principes par l'exemple des structures bâties figurant dans la légende des cartes de base selon diverses modalités. Le catalogage des entités a permis d'identifier le type d'objet « Structures » qui concerne tout édifice conçu pour un usage donné. Ce type d'objet « Structures » est utilisé dans plusieurs modèles spécifiques où il se spécialise en plusieurs sous-classes.

D'une part, la classe d'entités BÂTIMENT désigne toute construction permanente, murée et couverte. En plus de sa description par l'attribut d'usage, qui renseigne sur l'activité qui lui est dévolue, la considération des caractéristiques géométriques et dimensionnelles de l'objet BÂTIMENT a permis de ressortir la sous-classe d'entités BÂTIMENT_REMARQUABLE. D'autre part, on a défini la classe d'entités CONSTRUCTION_PARTICULIÈRE comme généralisation des constructions dépendantes des divers réseaux ou des ouvrages d'équipement.

Tableau 3. Exemple de mise en évidence des principes d'une ontologie des données de référence

	Organisation	Objectif	Utilisation	Types d'objets de référence	Cohérence
Clarté <i>Niveau descriptif</i>	Les constructions dans les cartes de base existantes: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Groupées remplies, ▪ Isolées remplies ▪ Légères (Isolées non remplies) ▪ Bidonville ▪ Construction en dur (terre) ▪ Bâtiment remarquable 	Production des cartes de base	Généralisation cartographique Cartographie thématique	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Type d'objets : Structures ▪ Définitions textuelles : <ul style="list-style-type: none"> ▪ classes d'entités, ▪ attributs ▪ relations 	1 Indépendance / complémentarité <ul style="list-style-type: none"> ▪ Une classe d'entités est définie dans un seul type d'objet ▪ L'import d'une classe d'entités d'un modèle spécifique à l'autre assure la complémentarité des types d'objets
Extensibilité <i>Niveau conceptuel et organisationnel</i>	3. Hiérarchisation	2. Adaptabilité			Évolution de la classe d'entités BÂTIMENT (type d'objet Structures) à SURFACE_BÂTIE (type d'objet Limites) ⇔ Généralisation conceptuelle
	BÂTIMENT	Grande échelle	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cadastre ▪ Cartes urbaines 	BÂTIMENT est du type d'objet Structures	
	SURFACE BÂTIE	Petites échelles	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cartes de base 	SURFACE_BÂTIE est du type d'objet Limites	
Engagement minimal <i>Niveau logico - physique</i>	Contraintes et mécanismes d'évolution de la classe ou sa modélisation spatiale	Chevauchement de domaines à des niveaux de détail plus fin		CONSTRUCTION_PARTICULIÈRE se spécialise en STRUCTURE_RÉSEAU qui se spécialise à son tour en OUVRAGE_DE_TRAVERSÉE qui peut se spécialiser en PONT ou TUNNEL	

En conclusion, sans prétendre avoir mené une analyse ontologique de données de référence, nous avons essayé d'en exprimer les principes à travers les critères qui ont conduit notre démarche de catalogage. Une réflexion plus approfondie sur l'ontologie des données de référence peut ensuite être envisagée en tenant compte des ontologies de domaine existantes.

3.3. Modèle de référence / Schéma intégré d'une IDS nationale

3.3.1. Modélisation conceptuelle des données de référence

L'élaboration de modèles conceptuels de données consiste à décrire l'information structurée selon un schéma cohérent en spécifiant les contraintes et les conditions à respecter. Le catalogage des données nous a permis de ressortir onze types d'objets. Cette classification s'est basée principalement sur la caractérisation des classes d'entités en termes de traitements ultérieurs possibles. Les relations qu'elles entretiennent entre elles ont permis de mettre en commun des sous-domaines d'interaction et de consolider les différents modèles conceptuels élaborés autour des types d'objets répertoriés.

Le recours à l'expertise internationale en termes de modèles de référence existants [IGN 02], [IGN 03], [OS 06] a permis d'améliorer la perception et la définition de certaines classes d'entités. L'utilisation de Web2GIS [LAP 06], l'environnement de conception de bases de données spatiales sur Internet, a simplifié l'élaboration des différents modèles en important les classes d'entités du catalogue des objets de référence réalisé. Il suffit d'associer leur spatialité aux types d'objets et à les regrouper au sein de paquetages en veillant à compléter par de nouvelles associations en cas d'importation d'une classe d'entités à partir d'un autre modèle.

Nous présentons dans ce qui suit un exemple d'application qui reprend le modèle spécifique du type d'objet « Transport terrestre » qui comporte le paquetage des pistes. Le modèle de référence global est ensuite enrichi par (1) l'import des classes d'entités relatives aux parcelles cadastrales, aux sections de chemin de fer et à la végétation zonale et (2) l'ajout de nouvelles associations pour témoigner des relations qu'elles entretiennent avec la classe d'entités des sections de pistes. Pour ce faire, nous avons utilisé les options d'import et d'ajout de liens proposées par le module de modélisation Web2GIS (Figure 1).

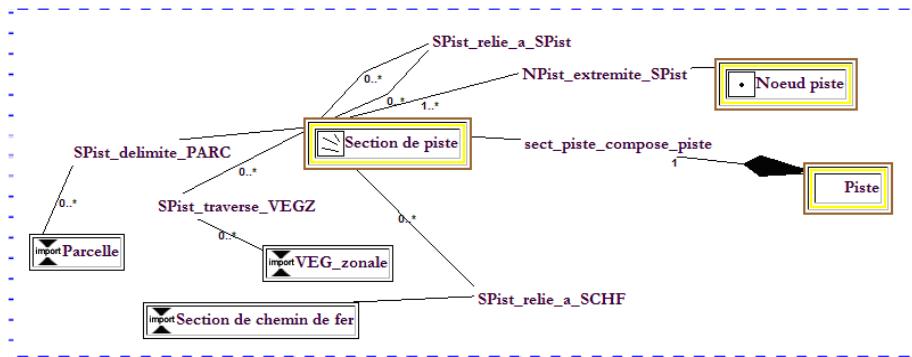


Figure 1. Extrait du modèle du type d'objet Transport terrestre enrichi [IBA 09]

Nous avons donc retenu les diverses classes d'entités qui relèvent du paquetage des pistes, appartenant au type d'objet « Transport terrestre », ainsi que les relations présentes entre ces classes d'entités (Figure 3). L'importation des classes d'entités issues d'autres modèles spécifiques, doit prendre en compte l'implémentation des classes d'entités dont elles dépendent. Ainsi, la parcelle cadastrale importée du modèle du type d'objet « Limites » concrétise l'interaction entre le paquetage parcellaire et le réseau des pistes à travers la relation de délimitation des parcelles par des pistes. Comme la parcelle cadastrale entre dans la composition de la propriété foncière, qui, elle-même, est répertoriée sur une mappe cadastrale, c'est tout le paquetage parcellaire qui est considéré en faisant appel à la parcelle cadastrale. Il en est de même pour la classe d'entités des sections de chemin de fer, importée du modèle du type d'objet « Réseau ferroviaire » où elle forme, par composition, la classe d'entités Chemin de fer. La relation entre les sections de piste et les sections de chemin de fer invoque ainsi la totalité du paquetage du réseau ferroviaire. Par contre, la classe d'entités Végétation zonale, importée du modèle du type d'objet « Végétation », n'a pas nécessité la prise en considération de classes d'entités additionnelles (Figure 2).

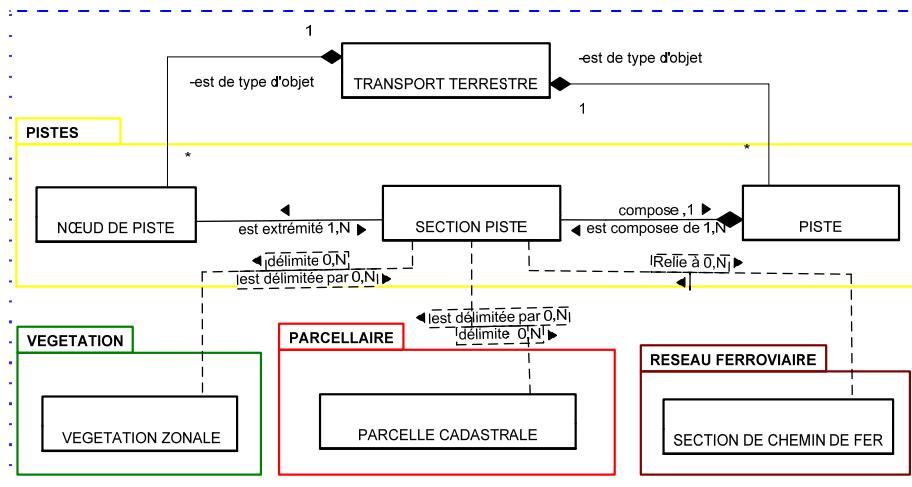


Figure 2. Exemple d'interactions entre les modèles spécifiques

Fiche de la classe d'entités SECTION_PISTE

Descriptif de la classe d'entités SECTION_PISTE du modèle Transport Terrestre

Classes d'entités	Définition	Attributs	Sous classes d'entités
SECTION_PISTE	Axe de la plus grande division d'une piste	<i>désignation_piste</i>	PISTE_CARROSSABLE,
		<i>largeur_piste</i>	PISTE_CYCLABLE
		<i>consistance_piste</i>	

Descriptif des attributs de la classe d'entités SECTION_PISTE

Attribut	Définition	Type de données des valeurs	Unité de mesure des Valeurs	Type du Domaine des Valeurs	Domaine des valeurs
<i>désignation_piste</i>	Utilisation ou fonction assurée par la piste	Char(25)	-	Valeurs précodées	PISTE_CARROSSABLE, PISTE_CYCLABLE, CHEMIN_EXPLOITATION, LAIE_FORESTIERE, COUPE_FEU, RUELLE, SENTIER_LAYON, ESCALIERS
<i>largeur_piste</i>	Largeur de piste	Real	mètre	-	-
<i>consistance_piste</i>	Composition de la surface de la piste	Char(25)	-	Valeurs précodées	EMPIERRÉE_EN_TERRE, EN_DUR, NON_AMENAGÉE, INCONNU

transport_terrestre.section_de_piste

Field	Type	Length	Lengthvar	NotNull
largeur_de_piste	varchar	-1	14	f
consistance_de_piste	varchar	-1	29	f
designation_piste	varchar	-1	29	f
section_de_piste_id	int4	4	-1	t
the_geom	geometry	-1	-1	f
sect_piste_compose_piste_piste_id	int4	4	-1	t

transport_terrestre.piste

Field	Type	Length	Lengthvar	NotNull
piste_id	int4	4	-1	t
piste_est_de_type_d_objet	int4	4	-1	t
transport_terrestre_type_d_objet_de_reference_id				

Lien entre les tables relatives aux pistes et aux sections de pistes

Figure 3. Fiche du catalogue normalisé relative à la classe des sections de piste

3.3.2. Exploitation du modèle de référence

L'exploitation d'un modèle unique des objets de référence constitue un atout considérable pour le partage des données en palliant aux problèmes d'hétérogénéité (sémantique, schématique et syntaxique) qui entravent l'intégration des bases de données géographiques issues de modèles et de disciplines différentes [BIS 98], [HAK 03]. Mais une autre source d'hétérogénéité peut apparaître entre différents niveaux de détail au sein d'un même domaine. C'est le cas, par exemple, des agences cartographiques nationales qui disposent de plusieurs catalogues d'entités correspondant chacun à une échelle donnée, engendrant ainsi de grands écarts entre le nombre de concepts retenus pour décrire l'espace géographique d'une échelle à une autre [SHE 07]. Pour résoudre ces problèmes d'hétérogénéité, certains ont proposé le recours à la cartographie pour la génération automatique d'une ontologie, en analysant le mécanisme qui, « cartographiquement », relie des éléments hétérogènes, et ce au départ du catalogue relatif à l'échelle 1/25 000^e [GOM 08]. À côté de cette démarche qui vise à la création d'un cadre d'intégration pour maintenir les diverses bases de données existantes comme alternative au manque d'outils de généralisation « complètement » automatique, d'autres auteurs proposent un modèle de bases de données topographiques intégrées, enrichi sémantiquement pour soutenir une généralisation « semi-automatique », en ajoutant des modèles de transition d'une échelle à une autre [STO 08].

Dans le cas de la présente recherche, le modèle de référence développé peut être exploité par différentes catégories d'utilisateurs et à différents niveaux de détail. Selon le point de vue de l'utilisateur, les modèles des types d'objets peuvent être implémentés sous leur forme actuelle ou étendus par la considération des ontologies de domaine existantes. À ce niveau, il convient de rappeler les objectifs de ce travail, en particulier les besoins constatés en matière d'outils de modélisation et de gestion de l'information géographique à l'échelle nationale. La modélisation des données de référence au Maroc doit être perçue comme un préalable à la mise en place d'une infrastructure nationale de données spatiales. En ce sens, le modèle de référence constitue un champ d'intérêt commun à diverses disciplines. Son adoption signifie la constitution de bases de données issues d'un même modèle conceptuel de données (MCD). Cette approche permet de pallier aux quatre sources d'hétérogénéité relevées par [HAK 03] et citées par [GOM 08] : (1) la modélisation conceptuelle, (2) la sémantique des objets, (3) la structure des bases de données et enfin (4) la modélisation spatiale des entités.

D'une part, les divers MCD développés sont issus d'un catalogue d'entités conforme à la norme ISO 19110. Ce dernier est élaboré selon les principes d'une ontologie de données de référence, motivés principalement par les points de vue des producteurs et utilisateurs des données, les configurations des données existantes et leurs domaines d'application antérieurs ; ce qui limite les incohérences sémantiques. D'autre part, le modèle de référence est conçu d'une manière globale dans le but de consolider les divers modèles spécifiques de types d'objets autour du modèle de type d'objet de référence, permettant ainsi de constituer des bases de données qui partagent le même schéma.

En ce qui concerne les problèmes d'hétérogénéité susceptibles d'être engendrés par les diverses modélisations spatiales d'un même objet, des mécanismes ont été envisagés dès la modélisation conceptuelle. Ainsi, le principe d'adaptabilité, soutenu par diverses formes d'enrichissement du modèle de référence, rejoint les mécanismes de transitions prévus par [STO 08] pour une généralisation semi-automatique. Il s'agit de la notion d'héritage multiple entre les classes d'entités qui relèvent de types d'objets différents, ainsi que les possibilités d'évolution de certaines classes d'entités ou de leur modélisation spatiale.

4. Conclusions et perspectives

La modélisation des données de référence au Maroc est motivée principalement par les besoins incontestables des divers utilisateurs de l'information géographique à l'échelle nationale. L'objectif visé dans ce travail est avant tout de mettre en place un modèle de référence, considéré comme une structure de base pouvant être adaptée à un maximum d'applications. En ce sens, le catalogage des entités a constitué le premier pas vers cette modélisation, et a permis de mettre en avant les principes d'une ontologie que l'on peut qualifier d'« ontologie de données de référence ». En d'autres termes, la définition des types d'objets de référence – en autorisant un même concept à appartenir à plusieurs catégories différentes – amplifie la portée du modèle global de référence tout en assurant sa consolidation par les interactions entre les modèles spécifiques aux divers types d'objets de référence définis.

Dans le cadre des données de référence, un repositionnement des ontologies dans le processus général de développement d'un SIG permettrait d'enrichir la caractérisation des relations et des propriétés spatiales en vue d'une adaptation à diverses applications. En effet, pour une application couvrant un domaine donné, le développement d'un SIG se base sur le dictionnaire de données de l'organisme demandeur qui traduit l'ontologie du domaine étudié. Dans le cas des données de référence, l'élaboration d'un SIG débute à partir de la réflexion sur le dictionnaire de données, mais le contexte réclame la réintégration de l'ontologie au-delà du dictionnaire.

Une réflexion plus approfondie sur l'ontologie des données de référence peut être envisagée et permettrait d'étendre le modèle de référence en tenant compte des ontologies de domaine existantes pour les modèles des types d'objets spécifiques. Le modèle de référence élaboré dans le cadre de ce travail peut être exploité en implémentant l'ensemble des modèles des types d'objets développés. Par ailleurs, des extensions pourraient être apportées en considérant divers niveaux de détail pour concrétiser les possibilités d'héritage multiple de certaines classes d'entités. Dans ce sens, il conviendrait d'expliciter davantage la notion de « référence » pour décider du niveau d'exploitation des objets qualifiés précisément de référence.

Par ailleurs, les aspects techniques présentés ci-dessus devraient inciter les décideurs à entreprendre des mesures concrètes pour encadrer les efforts à l'échelle

nationale. En ce qui concerne l'aspect organisationnel de la mise en place d'une IDS nationale, et en attendant l'instauration des réglementations nécessaires, les développements de ce travail pourraient jouer un rôle de sensibilisation des différents acteurs nationaux grâce au fait que :

- le catalogue d'entités conforme ISO constitue un grand pas vers la normalisation ;
- le dictionnaire de données élaboré dans le cadre du catalogage des entités est de nature à faciliter la communication entre les divers acteurs nationaux ;
- le modèle de référence permet la constitution de bases de données issues d'un même MCD, permettant ainsi de pallier aux problèmes d'hétérogénéité rencontrés généralement lors de l'intégration de données multi sources.

Enfin, l'adoption du modèle de référence peut venir en appui au développement des missions de normalisation et de standardisation de l'information géographique nationale. À cette fin, un Conseil National de l'Information Géographique (CNIG) devrait être mis en place et reconnu comme régulateur national légitime par l'ensemble des acteurs locaux, et constituer leur représentant dans les instances internationales traitant des IDS [IBA 2011].

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier la Coopération Technique Belge et les membres de l'unité de Géomatique de l'Université de Liège pour leur soutien durant les travaux de cette recherche.

5. Bibliographie

- [ANC 04] ANCFCC, “Cartographie : vision et stratégie”, rapport interne, 2004, Direction de la Cartographie, ANCFCC, Rabat, Maroc.
- [BAD 00] Badard T., “Propagation des mises à jour dans les bases de données géographiques multi-représentations par analyse des changements géographiques”, Thèse de doctorat, Université de Marne-la-Vallée, 2000.
- [BIS 98] Bishr, Y., “Overcoming the semantic and other barriers to GIS interoperability”, *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 12, n° 4, 1998, p. 299-314.
- [CHA 07] Chaidron C., Billen R., Teller J., “Investigating a Bottom-up Approach for Extracting Ontologies from Urban Databases”, *Studies in conceptual Intelligence* (SCI) n° 61, 2007, p. 131-141.
- [DAV 2009] Davis Jr., C.A., Fonseca, F.T., Câmara, G., “Beyond SDI: Integrating Science and Communities to Create Environmental Policies for the Sustainability of the

- Amazon”. *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research*, Vol. 4, 2009, p. 156-174.
- [DEV 97] Devogele T., “Processus d’intégration et d’appariement de bases de données géographiques : Application à une base de données routières multi-échelles”, Thèse de doctorat, Université de Versailles, 1997.
- [DON 02] Donnay J.P., “Distributed GIS for sharing large scale data between public agencies. A case study in Belgium”, Proceedings of *GIS 2002 International Conference*, March 11-13 2002, Bahrain, p. 47-59.
- [DSM 07] Direction de la Statistique du Maroc, “Expérience marocaine en matière de cartographie et du SIG pour les recensements de la population”, *Atelier régional des Nations unies sur la cartographie et l’utilisation des SIG pour l’organisation des Recensements*, Rabat, 12-16 novembre 2007, 28 p.
- [DSN 07] Direction de la statistique des Nations Unies, “Rapport final, recommandations et conclusions”, *Atelier régional des Nations unies sur la cartographie et l’utilisation des SIG pour l’organisation des Recensements*, Rabat, 12-16 novembre 2007, 31 p.
- [ECA 04] Economic Commission for Africa, “SDI Africa : An Implementation Guide”, Geoinformation Team, ECA, 2004.
- [GAZ 06] Gazel H., Gadal S. et Lekavicute J. “Réalisation d’un système d’information géographique et d’aide à la décision pour optimiser la gestion des ressources forestières”, Colloque : Gestion concertée des ressources naturelles et de l’environnement, 28-30 juin 2006, Saint-Quentin.
- [GES 05] Gesbert N., “Étude de la formalisation des spécifications de bases de données géographiques en vue de leur intégration”, Thèse de doctorat, Université de Marne-la-Vallée, 2005.
- [GIN 02] GINIE, “Infrastructures de données spatiales (SDI) : Recommandations pour actions”, rapport du projet GINIE D5.3.2(a), *Geographic Information Network in Europe*, 6-8 Mai 2002, programme IST de l’Union Européenne, Ispra.
- [GIN 03] GINIE, “Survey of key GI players within Europe”, rapport du projet GINIE D2.1.1 *Geographic Information Network in Europe*, 11 novembre 2003, programme IST de l’Union Européenne, Ispra.
- [GOM 08] Gomez-Pérez A. Ramos J.A., Rodriguez-Pascual A., Vilches-Blazquez L.M., “The IGN-E Case : Integrating trough a hidden ontology”, In : Ruas A. et Gold C. (Eds). *Headway in Spatial Data Hanling*, 13th International Sympsum on Spatial Data Hanling. 2008, Berlin-Heidelberg, Springer-Verlag, p. 417- 435.
- [GRU 93] Gruber, T. R., “Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing”, *International Journal of Human and Computer Studies*, n° 43, 1993, p. 907-928.
- [HAK 03] Hakimpour F., “Using ontology to resolve semantic heterogeneity for integrating Spatial database schemata”, Thèse de doctorat, Université de Zurich, 2003.

- [IBA 09] Ibannain F., “Modélisation des données géographiques de référence : Préalable à la mise en place d'une infrastructure de données spatiales au Maroc”, Thèse de doctorat, Université de Liège, 2009.
- [IBA 11] Ibannain F., “Mise en place d'une Base de Données Géographiques Nationale : Elaboration d'un catalogue d'entités conforme ISO et d'un MCD en adéquation avec la stratégie de l'ANCFCC”, Présentation à la direction de la cartographie, mars 2011, ANCFCC, Rabat.
- [IGN 01] IGN France, “Plan qualité du processus de fabrication de Cartign, Filière de production Cartign”, Rapport interne, 2001, Institut Géographique National, Paris.
- [IGN 02] IGN France, “BDTopo Pays / Agglomération: Spécifications de contenu”, Version 1.2. Service des Bases de Données Vecteurs”, rapport interne, 2002, Institut Géographique National, Paris.
- [IGN 03] IGN belge, “SGISR CDM v3.0 .Modèle conceptuel des données de références élaboré dans le cadre du projet SGISR Seamless Geographic Information System”, Rapport interne, 2003, Institut Géographique National, Bruxelles.
- [ISO 00] ISO, “ISO 9001 : Système de management de la qualité – Exigences”, 2000, Organisation internationale de normalisation, France.
- [ISO 05] ISO/TC 211. “ISO/TC 19110, Geographic information: Methodology for feature cataloguing”, 2005, Technical Committee ISO/TC 211, Geographic information/Geomatics, norme reprise intégralement comme norme marocaine (NM ISO 19110, 2007) par le Service de Normalisation Industrielle Marocaine (SNIMA), Rabat, Maroc.
- [LAP 06] Laplanche F., “Environnement de conception de bases de données spatiales sur Internet”, Thèse de doctorat, Université de Liège, 2006.
- [LAU 07] Laurini R., “Pre-consensus Ontologies and Urban Databases”, *Studies in computational Intelligence (SCI)*, n° 61, 2007, p.27-36.
- [MOL 98] Molenaar M., “*An Introduction to the Theory of Spatial Object Modelling for GIS*”, Research Monographs in GIS Series, London: Taylor & Francis, 1998.
- [NOU 06] Noucher M., “Mutualisation de l'information géographique : Infrastructure de données ou communauté d'acteurs ??” *GEO-EVENEMENT* 2006, Paris, France, 10 p.
- [NOU 08] Noucher M., Golay F., Sède-Marceau M. H., Pernon H., “OPDE 2008 : les outils pour décider ensemble?”, OPDE 2008, Québec, 5-6 juin 2008, 23 p.
- [NSH 04] NSHC, “Report from the 26th Conference of the North Sea Hydrographic Commission”, 20-23 septembre 2004, Cardiff, 153 p.
- [OS 06] Ordnance Survey, “Implementing OS Mastermap. Information Sheet 1: Data models and management (v1.4 – April 2006)”, Ordnance Survey, Southampton.
- [PAN 96] Pantazis, D., Donnay, J.P., *La conception de SIG : méthode et formalisme*, Collection géomatique, Paris, Hermès, 1996.

- [PAN 98] Pantazis D., Donnay J-P., “Objets géographiques à limites indéterminées. Modélisation et intégration dans un modèle conceptuel de données”, *Revue Internationale de Géomatique*, Vol. 7, n° 2, p. 159–186.
- [PAR 06] Parent, C., Spaccapietra, S., Zymanyi, E., *Conceptual Modelling for Traditional and Spatio-Temporal Application. The MADS Approach*, Berlin-Heidelberg, Springer-Verlag.
- [POI 07] Poirel G., “Cadre d’optimisation de la cartographie pré-censitaire”, *Atelier régional des Nations Unies sur la cartographie et l’utilisation des SIG pour l’organisation des Recensements*, Rabat, 12-16 novembre 2007, 22 p.
- [SAL 06] Salgé F., “Patrimoine géographique et infrastructure de données géoréférencées”, Séminaire “*Information géographique et aide au développement durable*”, Paris, 4 mai 2006, CNIG.
- [SHE 05] Sheeren D., “Méthodologie d’évaluation de la cohérence inter représentations pour l’intégration de bases de données spatiales : une approche combinant l’utilisation de métadonnées et l’apprentissage automatique”, Thèse de doctorat, Université de Paris 6, 2005.
- [SHO 04] SHOM, “La lettre du SHOM”, n°21, Décembre 2004.
- [STO 08] Stoter J.E., Morales J.M., Lemmens R.L.G., Meijers B.M., Van Oosterom P.J.M., Quak C.W., Uitermark H.T., Van Den Brink L., “A data model for multi-scale topographical data, in Ruas A. et Gold C. (Eds). “*Headway in Spatial Data Hanling, 13th International Sympsum on Spatial Data Hanling*”, 2008, Berlin-Heidelberg, Springer-Verlag, p 233-254.

NOTE BIOGRAPHIQUES

Fatiha Ibannain est ingénieur géomètre topographe à l’Agence Nationale de la Conservation Foncière, du Cadastre et de la Cartographie. Membre du conseil national de l’Ordre des Ingénieurs Géomètres Topographes (ONIGT, Maroc). Titulaire d’un doctorat en Sciences de l’université de Liège préparé au sein de l’unité de géomatique. Ses travaux portent sur la cartographie, la normalisation et les systèmes d’information géographique.

Jean-Paul Donnay est professeur ordinaire à l’Université de Liège, où il a créé en 1997 l’unité de géomatique au sein de la faculté des sciences. Titulaire d’un doctorat en sciences et d’une maîtrise en sciences appliquées, ses domaines de recherche et d’enseignement sont la cartographie, l’analyse spatiale et les systèmes d’information géographique.